

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В.Н.КАРАЗІНА

ФІЗИКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

**ЗАТВЕРДЖУЮ
ЗАВІДУЮЧИЙ КАФЕДРИ**

“ _____ ” _____ 20__ р.

_____ ст. викладач Квітковський Ю.В.
(науковий ступінь, наукове звання, прізвище та ініціали автора)

Методична розробка для проведення семінарського заняття
**ЗЕМЛЕТРУСИ. ВПЛИВ СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ
НА БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ. ЗАХИСТ ВІД ЗЕМЛЕТРУСІВ**
(повне найменування теми заняття)

З навчальної дисципліни _____ Цивільний захист

Обговорено на засіданні кафедри

“ _____ ” _____ 20__ р.

Протокол № _____

1. **Загальні поняття про землетруси**
2. **Основні вимоги до будівництва у сейсмічних районах**
3. **Міцність будівельних матеріалів при сейсмічних навантаженнях**
4. **Системи сейсмозахисту будівель і споруд**
5. **Методи розрахунку будівель на сейсмічні впливи**

ЛІТЕРАТУРА

1. Типова навчальна програма нормативної дисципліни «Цивільний захист» для вищих навчальних закладів, затверджена заступником міністра освіти і науки, молоді та спорту України 31.03.2011р.
2. Закон України “Про цивільну оборону України”. – К.Голос України, 06.03.1993.(додаток – 24.03.1999р).
3. Закон України “ Про об’єкти підвищеної небезпеки”. – К.18.01.2001.- №2245- ІІІ.
4. Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища". – К.: Відомості Верховної Ради України, 1991. – № 41. – Ст. 546.
5. Закон України "Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи". – К.: Відомості Верховної Ради України, 1991. – № 16. – Ст. 198; 1992., № 13. – Ст. 177.
6. Закон України "Про тваринний світ". – К.: Відомості Верховної Ради України, 1993. – № 18. – Ст. 191.
7. Закон України "Про екологічну експертизу". – К.: Відомості Верховної Ради України, 1995. – № 8. – Ст. 54.
8. Закон України “ Про правовий режим надзвичайного стану”. - К.Урядовий кур’єр, 14.06.2000.-№107.
9. Закон України “ Про аварійно – рятувальні служби”. - К.Урядовий кур’єр, 14.12.1999. - №1281.
- 10.Закон України “ Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру”. - К.Урядовий кур’єр, 16.09.2000. - №149.
- 11.Бикова О.В. Болієв О.В., Деревинський Д.М., Єлісеєв В.Н., Миронець С.М., Осипенко С.І., Півень Ю.О. та інш. Основи цивільного захисту: Навч. посібник К: 2008.– 223 с.

1 Загальні поняття про землетруси

Швидкі, раптові струси земної кори, викликані різного роду природними причинами, називаються **землетрусами**. Основна причина землетрусів – розрядка внутрішніх напруг Землі. Виявляються землетруси, головним чином, в зонах активних рухів земної кори. Ці зони називаються *сейсмічними* (грець. seismos – коливання).

Область усередині Землі, де раптово виділяється потенційна енергія, називається **сейсмічним осередком**. Центр області називають **гіпоцентром** *H*, а його проекцію на поверхню Землі – **епіцентром** *E*. Відстань між гіпоцентром і епіцентром – *глибина сейсмічного осередку*. За глибиною сейсмічного осередку землетруси поділяють на:

- поверхневі – відстань від епіцентру до гіпоцентру до 10 км;
- нормальні – 10...75 км;
- проміжні – 75...300 км;
- глибокофокусні – 300...700 км.

Пружні коливання, що розповсюджуються в Землі від осередків землетрусів, вибухів і інших джерел називають *сейсмічними хвилями*. Швидкість розповсюдження хвиль залежить від щільності і пружності середовища. Швидкість має тенденцію до зростання у міру поглиблення, в земній корі вона складає 2-8 км/с, а при поглибленні до мантії - 13 км/с. Розрізняють *об'ємні* та *поверхневі сейсмічні хвилі*; у свою чергу об'ємні хвилі розрізняються на *подовжні* і *поперечні* (рис. 11.1).

Поверхневі сейсмічні хвилі – ті, що розповсюджуються тільки уздовж поверхні Землі. Швидкість поверхневих хвиль менше швидкості об'ємних хвиль. Із-за своєї низької частоти, часу дії і великої амплітуди вони є самими руйнівними зі всіх типів сейсмічних хвиль. Розрізняють два типи поверхневих хвиль: *хвилі Лява* і *Релея*.

Об'ємні хвилі проходять через надра Землі.

Подовжні сейсмічні хвилі (Р-хвилі, первинні хвилі, компресійні хвилі) – найбільш швидкі хвилі, що розповсюджуються від джерела сейсмічних коливань і є послідовним стисненням і розрядкою матеріалу. Подовжні хвилі проходять через всі середовища. Їх швидкість в 1,7 разу більша, ніж швидкість поперечних S-хвиль. Стандартна швидкість Р-хвиль в граніті – 5000 м/с.

Поперечні сейсмічні хвилі (S-хвилі, вторинні хвилі) – сейсмічні хвилі, що розповсюджуються повільніше, ніж подовжні Р-хвилі. Вони складаються з пружних коливань, поперечних по відношенню до напрямку розповсюдження хвилі. Поперечні хвилі не проходять через рідину.

Сейсмічні хвилі у міру віддалення від сейсмічного осередку втрачають інтенсивність. Зменшується і сейсмічна енергія. Ці зміни на спеціальних сейсмічних картах показують *ізолініями (ізосейстами)*. Кожна ізосейста з'єднує точки з рівною щільністю потоку сейсмічної енергії. Дальність розповсюдження багато в чому визначається геологічною будовою району. У складчастих областях сейсмічні хвилі затухають значно швидше, ніж на рівнинах.

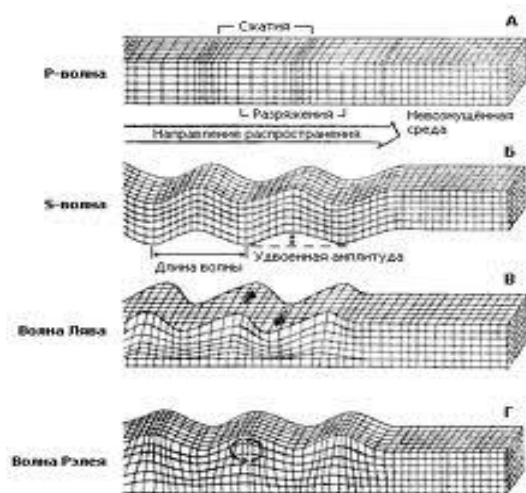


Рисунок 11.1 – Види сейсмічних хвиль

В Україні до сейсмічно небезпечних районів віднесені Карпати і Крим. Сейсмічна зона Криму займає південну частину півострова. Тут відомі землетруси силою до 8 балів.

За причинами, що їх викликають, землетруси поділяються на *тектонічні*, *вулканічні* і *денудаційні*.

Тектонічні землетруси пов'язані з розрядкою напруг, що періодично накопичуються в земній корі і верхній мантії внаслідок рухів блоків та глиб, що зачіпають різні глибини земної кори і верхню мантію. На них припадає 95 % всіх землетрусів.

Вулканічні землетруси передують виверженням вулканів або супроводжують їх. Вони мають локальне розповсюдження: обмежуються областю, прилеглою до діючого вулкана.

Денудаційні (або *обвальні*) землетруси відбуваються в районах розповсюдження легкорозчинних гіпсових, сольових і карбонатних порід, де виникають значних розмірів карстові порожнини і печери. Підземний обвал віддає по поверхні сейсмічним поштовхом. На частку денудаційних припадає близько 1 % всіх відомих землетрусів. Один з найбільш сильних денудаційних землетрусів спостерігався в Харківській області в 1915 р.

Коливання ґрунту, викликані проходженням поверхневих хвиль, фіксуються за допомогою приладів – *сейсмографів* і записуються у вигляді *сейсмограм*. **Сейсмограми** – основний документ, що характеризує землетрус. На них відбиті амплітуди подовжніх, поперечних і поверхневих хвиль.

Основні показники сили землетрусу – його енергія та інтенсивність. Енергія, що виділяється при розрядці напруг у сейсмічному осередку, вимірюється у джоулях або магнітудах. *Магнітуда* M – умовна енергетична характеристика, що виражається логарифмом відношення амплітуди коливань землетрусу, який вивчається, A_r до амплітуди коливань стандартного землетрусу A :

$$M = \lg (A_r / A) \quad (11.1)$$

Як еталонний, або стандартний землетрус, прийнято землетрус з амплітудою 1 мкм, який можна зареєструвати на відстані 100 км сейсмографом стандартного типу.

Шкала, запропонована Ч. Ріхтером, налічує 9 магнітуд. Між енергією і магнітудами існує залежність. Співвідношення магнітуди, енергії та інтенсивності

землетрусів наведені в табл. 11.1.

У глибокофокусних землетрусів поверхні Землі досягає лише 7...8 % енергії, що виділяється. Тому невеликі за енергією землетруси з малою глибиною сейсмічного осередку бувають більш руйнівними, ніж глибокофокусні з високою енергією сейсмічного осередку.

Інтенсивність землетрусу характеризує силу підземних поштовхів на поверхні Землі. Для оцінки її розвитку використовують 12-бальну шкалу MSK-1964 (табл. 11.2). В її основу покладені ступінь руйнування будівель, зміни у ґрунтах, поведінка людей та інші ознаки. Характер руйнувань на поверхні залежить від напрямку ударної хвилі.

Таблиця 11.1 – Співвідношення інтенсивності, магнітуди та енергії землетрусів

Характер землетрусів	Інтенсивність, бали	Магнітуда, M	Енергія E , Дж	Число землетрусів на рік (частота землетрусів)
Катастрофічне	11...12	8,0...9,0	10^8	1
Сильно руйнівне	9...11	7,0...7,9	10^{16}	10
Руйнівне	7...9	6,0...6,9	10^{14}	100
Супроводжується пошкодженнями	6...7	5,0...5,9	10^{12}	1000
Тільки відчувається	4...5	3,0...3,9	10^8	100000

Між енергією землетрусу та його інтенсивністю існує залежність, що виражається формулою:

$$M = 1,3 + 0,6 B, \quad (11.2)$$

де M – магнітуда; B – інтенсивність землетрусу, балів.

Таблиця 11.2 – Класифікація землетрусів за проявами по шкалі MSK-1964

VI	3.0...3.9 M	Легкі пошкодження будівель. Спостерігаються тонкі тріщини у штукатурці. У сирих ґрунтах з'являються тріщини шириною до 1 см.
VII	4.0...4.9 M	Легкі та значні пошкодження будівель. Спостерігаються тріщини та сколювання штукатурки. Спостерігаються випадки руйнування споруд з природного каменю (глинобитних і з рваної цеглини). На дорогах з'являються тріщини, порушуються стики трубопроводів.
VIII	5.0...5.9 M	Сильне пошкодження будівель. Руйнується багато будівель із природного каменю. У кам'яних будівлях з'являються численні великі тріщини та розшарування кладки, руйнування окремих ділянок стін, обсипається штукатурка. Тріщини у ґрунтах досягають декількох сантиметрів.
IX	6.0...6.9 M	Загальне пошкодження будівель. Руйнування стін та перекриттів. Окремі випадки руйнування цегляних споруд. Скривлюються залізничні колії. Тріщини у ґрунтах досягають 10 см завширшки.
X	7.0...7.9 M	Загальне руйнування будівель. Цегляні будівлі руйнуються, серйозні пошкодження виникають у дамбах, греблях, мостах. Дорожні асфальтовані покриття набувають хвилястої поверхні. Тріщини у ґрунтах досягають 1 м. На берегах річок, морів, схилах гір спостерігаються великі обвали, випадки випліскування води в озерах, каналах, річках.

XI	8.0...8.9 М	Катастрофа. Ушкоджуються будівлі залізобетонних конструкцій. Значним руйнуванням піддаються мости, дамби, залізничні колії. Рівна поверхня стає хвилястою. Ширина тріщин у ґрунтах досягає 1 м. Уздовж розривів відбуваються вертикальні й горизонтальні переміщення гірських порід.
-----------	--------------------	--

2 Основні вимоги до будівництва у сейсмічних районах

Основні вимоги до будівництва у сейсмічних районах зводяться до вжиття таких заходів:

1. Вибір ділянки для будівництва.
2. Вибір конструктивного рішення (КР) та об'ємно-планувального рішення (ОПР).
3. Забезпечення високої якості будівництва.
4. Поділ будівель і споруд антисейсмічними швами.

Будівельні майданчики під населені пункти і споруди вибираються з урахуванням геологічних даних, якнайдалі від можливих або явних розривних порушень, далеко від крутих схилів, що загрожують обвалами і зсувами. Несприятливими для будівництва вважають пухкі ґрунти і тріщинуваті породи.

При виборі ділянки для забудови враховують такі поняття, як *сейсмостійкість* будівельних об'єктів та *сейсмічність* будівельного майданчика.

Здатність ґрунтів, будівель і споруд протистояти сейсмічним впливам називають *сейсмостійкістю*. Заходи з підвищення сейсмостійкості будівель застосовуються у районах із сейсмічністю у 7 балів і вище. Нормативне обґрунтування цих заходів здійснюється за ДБН В.1.1-12:2006. «Будівництво у сейсмічних районах України». За сейсмічності більше 9 балів зведення капітальних будівель заборонено.

Сейсмічність будівельного майданчика залежить від сейсмічності району та сейсмостійкості ґрунтів, на яких розташовано майданчик та які поділяються на категорії. Сейсмічну інтенсивність майданчика будівництва визначають з урахуванням результатів сейсмічного мікрорайонування (СМР), яке виконується для районів із сейсмічністю 6 і більше балів. У разі відсутності карт сейсмічного мікрорайонування допускається спрощене визначення сейсмічності майданчика будівництва на основі матеріалів інженерно-геологічних вишукувань згідно з таблицею 11.3.

Таблиця 11.3 - Сейсмічність майданчика будівництва в залежності від категорії ґрунтів

Категорія ґрунту за сейсмічними	Ґрунти	Сейсмічність майданчика будівництва при сейсмічності району, балів				Швидкості розповсюдження сейсмічних хвиль у ґрунті,
		6	7	8	9	
I	Скельні ґрунти усіх видів; великоуламкові ґрунти щільні, маловологі, які вміщують до 30 % піщано-глинистого заповнювача. Глибина ґрунтових вод більше 15 м.	5	6	7	8	$v_s > 800$
II	Скельні ґрунти вивітрілі; піски гравелисті, крупні та середньої крупності щільні та середньої щільності маловологі; пілувато-глинисті ґрунти із показником текучості $I_L \leq 0,5$ при коефіцієнті пористості $e < 0,9$ - для глин і суглинків та $e < 0,7$ - для супісків. Глибина ґрунтових вод 15...5 м.	6	7	8	9	$500 < v_s < 800$

III	Піски крихкі незалежно від ступеня вологості та крупності; піски гравелістні крупні; дрібні та пілуваті вологі та водонасичені; пілувато-глинисті ґрунти з показником текучості $I_L > 0,5$; пілувато-глинисті ґрунти з показником текучості $I_L \leq 0,5$ при коефіцієнті пористості $e \geq 0,9$ - для глини і суглинків та $e \geq 0,7$ - для супісків. Глибина ґрунтових вод менше 4 м.	7	8	9	10	$200 < v_s < 500$
IV	Піски крихкі водонасичені, схильні до розрідження; насипні ґрунти; пливуні, біогенні ґрунти та намули	За результатами спеціальних досліджень				$v_s < 200$

При проектуванні будівель зазвичай приймають нормативну сейсмічність будівельного майданчика, яка відповідає 2-й категорії. Для ґрунтів 1-ї категорії розрахункова сейсмічність знижується на 1 бал, а для ґрунтів 3-ї категорії – підвищується на 1 бал, порівняно з нормативною.

Відомо, що споруди, які будуються у сейсмічно небезпечному районі, проектуються так, щоб відповідати різним критеріям поведінки за різної інтенсивності землетрусів.

При проектуванні сейсмостійких споруд дотримуються таких принципів:

1. Принцип симетрії: маса і жорсткість конструкції повинні бути розподілені рівномірно і симетрично відносно площин симетрії, що проходять через центр ваги споруди. Тобто будівлі проектують простої форми у плані та симетричними (круг, квадрат, прямокутник). Будівлі складної форми у плані поділяють на відсіки простої форми *антисейсмічними швами* (рис. 11.2) у вигляді парних стін (у стінових будівлях) або парних рам (у каркасних будівлях).

2. Принцип гармонії: необхідно дотримуватися пропорційності у розмірах будівлі, при цьому її довжина або висота не повинні бути надзвичайно великими. Граничні розміри, поверховість, висоту поверхів будівель приймають згідно з вимогами ДБН В.1.1-12:2006.

3. Принцип антиважкості: необхідно проектувати споруду якомога більш легкою, з центром ваги, розташованим якнайнижче.

4. Принцип еластичності: матеріали в конструкції бажано застосовувати міцні, легкі, такі, що мають пружні властивості; конструкції з них повинні мати однорідні властивості.

5. Забезпечення замкнутого контуру: несучі елементи конструкції повинні бути зв'язані між собою, утворюючи замкнуті контури як у вертикальному напрямку, так і в горизонтальному.

6. Забезпечення надійності фундаментів: для сейсмостійких конструкцій фундаменти повинні бути міцними, достатньо глибоко закладеними, бажано на податливих прошарках або спеціальних субструкціях, що замінюють слабкі ґрунти, для забезпечення однорідності і міцності ґрунтової основи. Стрічкові збірні фундаменти закладають на одній відмітці та роблять неперервними. Ростверк пальового фундаменту роблять низьким, заглибленим у ґрунт. Рекомендується застосовувати суцільний плитний фундамент. Підвал розташовується під усім відсіком. В каркасних будівлях фундаменти під колони зв'язують між собою неперервними залізобетонними фундаментними балками у вигляді перехресних стрічок.

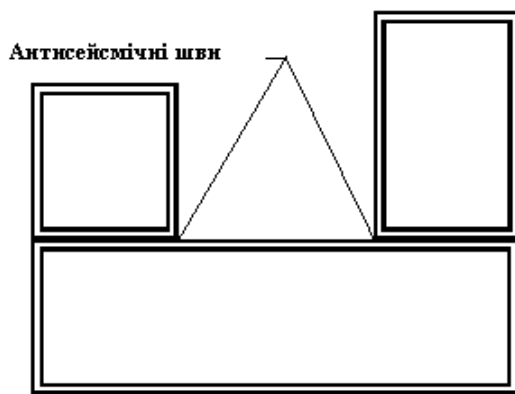


Рисунок 11.2 – Приклад проектування будівель складної форми в сейсмічних районах

7. Застосування сейсмоізоляції: доцільно застосовувати пристрої, що знижують інтенсивність коливальних процесів, які передаються від ґрунту на будівлю.

При будівництві дамб і мостів підсилюють їх основи, влаштовують більш пологі укоси. Нові конструкції будівель здорожують будівництво, але це врешті-решт виправдовує себе: рятує життя багатьом людям, зберігає від руйнування дороги промислові об'єкти.

Будівлі і споруди слід розділяти антисейсмічними швами у випадках, якщо:

- будівля або споруда має складну форму в плані;
- суміжні ділянки будівлі або споруди мають перепади висот 5 м і більше. В одноповерхових будівлях заввишки до 10 м за розрахункової сейсмічності 7 балів антисейсмічні шви допускається не влаштовувати|владнувати,улаштовувати|.

Антисейсмічні шви повинні розділяти будівлі і споруди по всій висоті. Допускається не влаштовувати шов у фундаменті, за винятком випадків, коли антисейсмічний шов співпадає з осадовим.

Сходові клітки слід передбачати закритими, такими, що мають в зовнішніх стінах віконні отвори. Розташування і кількість сходових кліток слід визначати за результатами розрахунку, що виконується відповідно до вимог ДБН В.1.1-7-2002 «Захист від пожеж. Пожежна безпека будівель та споруд», але приймати не менше однієї сходової клітки між антисейсмічними швами в будівлях заввишки більше трьох поверхів.

Антисейсмічні шви слід виконувати шляхом зведення парних стін або рам, а також зведення рами і стіни.

3 Міцність будівельних матеріалів при сейсмічних навантаженнях

Міцність будівельних матеріалів і конструкцій залежить не тільки від фізичних властивостей, але багато в чому визначається тими умовами, в яких вони знаходяться при експлуатаційних навантаженнях. В умовах землетрусів міцнісні характеристики матеріалів, природно, більшою мірою визначатимуться особливостями самого сейсмічного навантаження.

Однією з таких особливостей, характерною для всякого землетрусу, є короткочасність дії навантаження, тобто порівняно мала кількість циклів його повторення. Іншим чинником, що має велике значення для роботи будівельних конструкцій і матеріалів, є частота навантаження.

Як показують численні експериментальні дослідження, споруди коливаються з частотою, що відповідає частоті їх власних коливань, незалежно від частот зовнішньої

дії. Періоди ж вільних коливань більшості будівель і споруд становлять близько $0,1 \dots 2,0$ с, і, отже, частота динамічного навантаження, що впливає на споруду в умовах землетрусів, знаходитиметься, в основному, в межах $0,5 \dots 10$ Гц.

Розглядаючи несучу здатність конструкцій і матеріалів, слід мати на увазі, що сильний землетрус – явище відносно рідкісне, тому забезпечення експлуатаційної повноцінності об'єктів після землетрусу може бути економічно недоцільним, оскільки термін служби таких будівель може бути меншим за період повторюваності сильних землетрусів. Тому в сейсмостійкому будівництві не ставиться вимога забезпечення повного збереження і придатності до подальшої експлуатації будівель, що зазнали сейсмічних навантажень; головне – забезпечити безпеку людей і збереження найбільш цінного майна. Така вимога визначає поняття граничного стану конструкції; у конструкціях можна допустити будь-які деформації, які, проте, не призведуть до обвалення.

У цих умовах гранична несуча здатність конструкцій може визначатися тільки граничними міцнісними характеристиками матеріалів. Наприклад, несуча здатність залізобетонних конструкцій не повинна обмежуватися моментом появи в арматурі напруг, відповідних межі текучості арматурної сталі; вона повинна визначатися межею її міцності, що, природно, приводить до істотного збільшення несучої здатності.

Як наголошувалося раніше, несуча здатність сталі, бетону, залізобетону та інших матеріалів в умовах сейсмічних дій визначається, в основному, динамічним характером навантаження за порівняно невеликої кількості циклів його дії. При цьому міцнісні характеристики, природно, відрізнятимуться як від міцності при одноразовому швидкому навантаженні (ударі), так і від міцності при великому, обчислюваному мільйонами циклів, числі навантажень (втомна міцність). Проте оскільки міцність матеріалів у області нечисленних повторних навантажень до певної міри пов'язана і з їх ударною та втомною міцністю, треба розглянути більш загальну характеристику несучої здатності матеріалів за різних видів навантажень.

Для прикладу можна розглянути такий будівельний матеріал, як сталь. Дослідження сталі показали, що ударна міцність у неї на $20 \dots 40$ % вища за статичну, а межа текучості при ударі зростає, в порівнянні зі статичними випробуваннями, на $30 \dots 60$ %. Слід зазначити, що м'які сталі, які мають добрі пластичні властивості, виявляють значно помітніше збільшення міцнісних характеристик, ніж крихкі.

Збільшення міцнісних характеристик зі зміною швидкості навантаження спостерігається і в інших будівельних матеріалів, наприклад, у бетоні, алюмінії, деревині. Ударна міцність алюмінієвих сплавів на $20 \dots 30$ % вища за статичну межу міцності. Міцність бетону на стиснення при ударі виявляється вищою за $R_{n,n}$, причому це перевищення, залежно від швидкості навантаження, коливається в діапазоні від 10 % до 85 %. Ударна міцність деревини при вигині на $10 \dots 75$ % вища за своє статичне значення. Тобто як правило, міцнісні характеристики будівельних матеріалів збільшуються зі зростанням швидкості додавання навантаження.

Міцнісні характеристики будівельних матеріалів залежать від повторності додавання навантаження. Дослідами встановлено, що якщо матеріал піддавати дії навантаження, величина якого дещо менше за статично руйнуючу, то після деякого числа повторень навантаження викликає руйнування цього матеріалу. Якщо потім зменшити величину навантаження, то для руйнування такого ж зразка вже буде потрібна більша кількість циклів. За зменшення навантаження до певної межі стане можливим навантажувати зразок нескінченну кількість разів без руйнування. Ця характеристика матеріалу носить назву "*межа втоми*", або "*витривалість*".

Практично *межею витривалості* прийнято вважати максимальну напругу, яку матеріал витримує в кількості $5 \cdot 10^6$ або $5 \cdot 10^7$ циклів.

Дослідження втомної міцності сталі, бетону, залізобетону та інших будівельних матеріалів були проведені багатьма ученими. За даними цих досліджень, величина межі витривалості для сталі становить близько $0,5 R_{n.n}$ (при $n = 6 \cdot 10^6$ та $q = 0$), для бетону на стиск – приблизно $0,5 \dots 0,6 R_{n.n}$ (при $n = 2 \cdot 10^6$ та $q = 0$). Для залізобетонних елементів межа витривалості залежить від відсотка армування і коливається в межах $0,4 \dots 0,6 R_{n.n}$.

Слід зазначити, що втомна міцність матеріалів залежить від цілого ряду чинників: від виду напруженого стану, меж зміни напруг при кожному циклі динамічного навантаження (коефіцієнта асиметрії $q = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$), швидкості навантаження, режиму зміни амплітуд напруг та ін.

Міцнісні характеристики будівельних матеріалів у області обмеженої втоми мають безпосереднє відношення до несучої здатності при сейсмічних навантаженнях.

Дослідженням міцності сталі, бетону, залізобетону, алюмінію у області нечисленних повторних навантажень останнім часом приділяється багато уваги. Було встановлено, що в цьому діапазоні на міцність і деформативність будівельних матеріалів впливають як швидкість додавання навантаження, що веде до збільшення міцнісних характеристик матеріалів, так і повторність динамічної дії, що знижує несучу здатність. Істотний вплив на зниження міцнісних показників конструктивних елементів справляють також "*перевантажувальні цикли*", що мають місце, як це вже було відмічено, при землетрусах.

У результаті досліджень несучої здатності матеріалів (сталі, алюмінію і бетону) і простих конструкцій (балок і стояків) при нечисленних повторних навантаженнях вдалося встановити, що залежність між міцністю і логарифмом числа навантажень для досліджуваних матеріалів має прямолінійний характер і може бути виражена рівняннями: для сталі $\sigma_n = R_{n.n} (1,34 \dots 0,13 \lg n)$; для алюмінію $\sigma_n = R_{o.o} (1,41 \dots 0,15 \lg n)$; для бетону $\sigma_n = R_{n.n} (1,15 \dots 0,09 \lg n)$.

Таким чином, міцність сталі, алюмінію і бетону за порівняно невеликого числа повторних навантажень (до $80 \dots 100$ циклів) у ряді випадків перевищує статичну межу міцності, а при одноразовому навантаженні ($n = 1$) це перевищення стає вельми значним (для сталі А-I – 30 %, для алюмінієвого сплаву АМг/кб1 – 40 % і для бетону марки 200 – 15 %), тобто швидкість навантаження істотно впливає на міцнісні характеристики матеріалів.

Величина відносного подовження μ при розриві для балок зі звичайного і попередньо напруженого залізобетону, армованого сталлями класів А-I, А-IIIв і А-IV, за різного вмісту арматури, становить: для сталі класу А-I – близько 25 %, для сталей класів А-IIIв і А-IV – 6 %.

Для залізобетонних балок з арматурою класу А-I $\mu = 1,7$ %; з арматурою класу А-III $\mu = 1,0$ %.

У результаті проведених досліджень було встановлено залежність міцності зразків від кількості циклів динамічного навантаження.

Як показує аналіз поведінки будівель, що зазнали сильних землетрусів, одним з основних чинників, що справляють вирішальний вплив на поведінку конструктивних елементів при сейсмічних навантаженнях, є деформативні властивості матеріалів, оскільки вони, в основному, визначають запаси несучої здатності конструкцій. Вище наголошувалося, що при будь-якому землетрусі разом з більш-менш стабільним значенням амплітуд динамічного навантаження зустрічаються і перевантажувальні

цикли. Ці "піки" є найбільш небезпечними для крихких матеріалів, оскільки межа пружності в них є близькою до межі міцності, і якщо зовнішнє навантаження навіть протягом деякого проміжку часу викличе в такому матеріалі напруги, що перевищують межу пружності, то його несуча здатність вичерпується і наступає руйнування.

Саме таким матеріалом, що не є здатним до пластичних деформацій, для якого надзвичайно небезпечні перевантаження, є цегляна кладка. Так, при ташкентському землетрусі спостерігалися достатньо сильні пошкодження будівель з несучими цегляними стінами, тоді як будівлі інших типів майже не постраждали.

Велику роль відіграють шви і стикові з'єднання між різними конструктивними елементами. Матеріал шва може відрізнятися від матеріалу елементів. Поведінка конструкцій під час землетрусів зумовлена характером зв'язків.

4 Системи сейсмосахисту будівель і споруд

Загальна класифікація *систем сейсмосахисту* споруд представлена на рис. 11.3. Вона складається з *традиційних методів* забезпечення сейсмостійкості та спеціальних засобів сейсмосахисту.

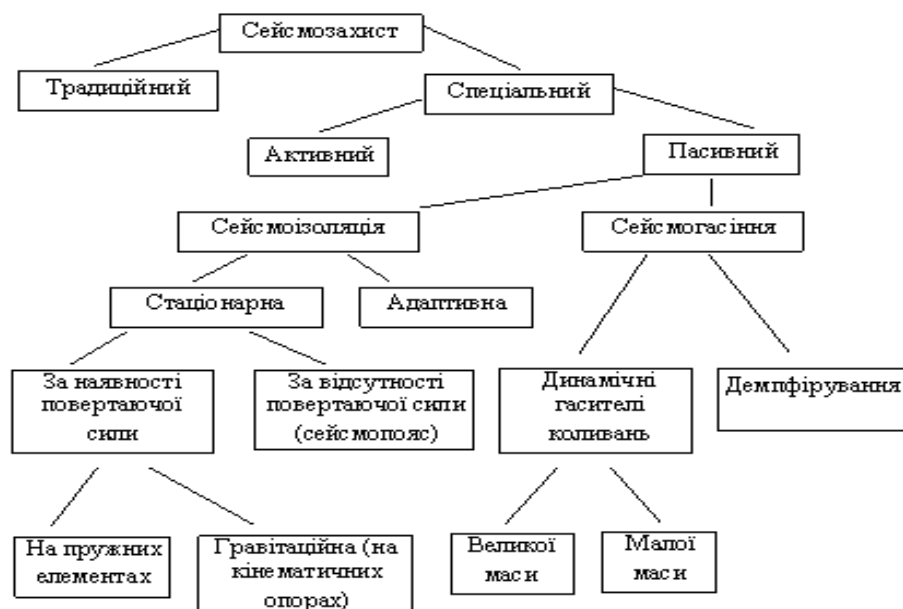


Рисунок 11.3 – Класифікація систем сейсмосахисту

4.1 Традиційні методи забезпечення сейсмостійкості

1. Цегляні будівлі.

Цегляні будинки висотою до чотирьох поверхів є найпоширенішим типом будівель у сейсмічних районах.

Міцнісні і деформаційні властивості кам'яних кладок такі, що вони погано чинять опір дії сейсмічних навантажень. Вразливими місцями будівель при землетрусах є ділянки сполучення поздовжніх і поперечних стін. При дії горизонтальних сил у площині перекриттів найскладніше зусилля зсуву сприймаються в місцях сполучення перекриттів зі стінами.

Тому в кам'яних стінах влаштовуються окремі залізобетонні включення, що

істотно підвищують несучу здатність кам'яних конструкцій.

У стінових будівлях стійкість та жорсткість несучих стін підсилюється залізобетонними *обв'язками замонолічування, антисейсмічними поясами та антисейсмічними сердечниками.*

2. Великопанельні будівлі.

Зведення великопанельних будинків у сейсмічних районах вважають більш доцільним, бо вони приблизно у 2 рази легші за цегляні та мають більшу просторову жорсткість. Нові будівлі із залізобетонними конструкціями витримують підземні поштовхи силою до 8 балів і більше.

Великопанельні будівлі для підвищення механічної міцності слід проектувати з подовжніми і поперечними несучими стінами, об'єднаними між собою і з перекриттями та покриттями в єдину просторову систему, що сприймає сейсмічні навантаження.

Зовнішні стіни розраховують на горизонтальні навантаження. У будівлях вище 5 поверхів застосовують панелі з подвійною арматурою. Перекриття рекомендується виконувати з панелей "на кімнату" з рифленими гранями.

3. Каркасні будівлі.

У каркасних будівлях конструкцією, що сприймає горизонтальне сейсмічне навантаження, може служити: каркас, каркас із заповненням, каркас із вертикальними зв'язками, діафрагмами або ядрами жорсткості.

Для сприйняття сейсмічних впливів жорсткі вузли залізобетонних каркасів будівель повинні бути посилені застосуванням зварних сіток, спіралей або замкнутих хомутів.

В каркасних будівлях враховують додаткові сейсмічні горизонтальні навантаження, встановлюючи діафрагми і зв'язки.

Деякі землетруси викликають у каркасних будівлях руйнування колон при великих переміщеннях нижнього поверху. Одним з можливих шляхів збереження колон нижнього поверху, а значить і будівлі в цілому, є застосування в нижньому поверсі *резервних жорстких вертикальних елементів (РВЕ), що вимикаються (що руйнуються)* у процесі наростання амплітуд коливань споруди при деяких сейсмічних діях. Виключення цих РВЕ викликає перебудову внутрішньої структури системи, зміну її динамічних характеристик і підвищує надійність споруди при сейсмічних діях різного типу.

4.2 Спеціальні засоби сейсмосахисту

Спеціальні засоби сейсмосахисту є на сьогодні одним з найбільш перспективних напрямів у галузі сейсмостійкого будівництва.

Згідно з прийнятою класифікацією, всі методи спеціального *сейсмосахисту* можна поділити на *активні* (що мають додаткове джерело) і *пасивні*. Такий підрозділ відповідає термінології, що склалася, в теорії віброзахисту.

Активний *сейсмосахист* включає додаткові джерела енергії та елементи, що регулюють роботу цих джерел, проте його реалізація вимагає значних витрат на улаштування й експлуатацію. Це виключає можливість широкого застосування активного *сейсмосахисту* для будівельних конструкцій. Далі розглядаються спеціальні методи пасивного сейсмосахисту, які не використовують додаткових джерел енергії. Ці методи підрозділяються на *сейсмоізоляцію* та *сейсмогасіння*.

У *системах сейсмоізоляції* забезпечується зниження механічної енергії,

одержуваної конструкцією від основи шляхом настроювання частот коливань споруди від переважаючих частот дії. Розрізняють *адаптивні* і *стаціонарні* системи сейсмоізоляції.

В *адаптивних* системах динамічні характеристики споруди незворотно змінюються в процесі землетрусу, "приспосовуючись" до сейсмічної дії. Наприклад, у нижній частині будівлі між несучими стояками нижнього поверху встановлюють зв'язкові панелі (рис. 11.4), що відключаються (руйнуються) при інтенсивних сейсмічних діях, коли у спектрі дії переважають періоди, рівні або близькі до періоду вільних коливань споруди. Після відключення панелей частота вільних коливань падає, період збільшується, внаслідок чого відбувається зниження сейсмічного навантаження. Як недоліки *адаптивних* систем слід вказати, що після руйнування зв'язків, що вимикаються, під час землетрусу необхідне їх відновлення, що не завжди можна здійснити практично.

У *стаціонарних* системах динамічні характеристики зберігаються у процесі землетрусу.

Найбільшого розповсюдження серед систем стаціонарної сейсмоізоляції набули *сейсмоізолюючі фундаменти*, які достатньо широко застосовуються у практиці сейсмостійкого будівництва.

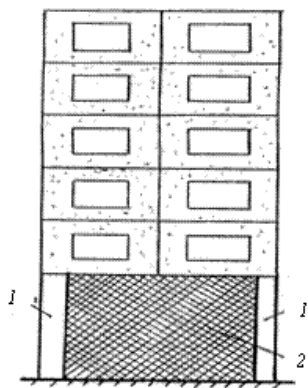


Рисунок 11.4 – Приклад застосування *адаптивної* системи сейсмоізоляції:
1 – несучі стояки; 2 – зв'язкові панелі

Основні принципи влаштування сейсмоізолюючих фундаментів зводяться до того, що:

- їх доцільно застосовувати в районах, для яких упевнено прогнозуються високо- і середньочастотні землетруси з періодом прискорення не більше 1 с. (У районах, для яких характерні низькочастотні землетруси, сейсмоізолюючі конструкції не рекомендовані.)
- вони повинні обов'язково включати систему додаткових засобів сейсмозахисту, що знижують небезпечні відносні зсуви ізолюваного об'єкта; такими засобами можуть бути спеціальні пристрої енергопоглинання, наприклад, динамічні гасителі, енергопоглиначі сухого і в'язкого тертя і т.п.

Всі конструкції сейсмоізолюючих фундаментів можна підрозділити на дві великі групи, залежно від того, виникає чи не виникає повертаюча сила при взаємному зсуві сейсмоізолюваних частин споруди.

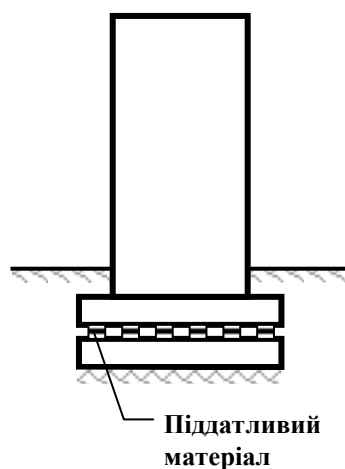
Сейсмоізоляція, яка не забезпечує повертаючої сили, що діє на сейсмоізолюючі частини конструкцій, реалізується шляхом влаштування *ковзаючого поясу* (рис. 11.5). При землетрусі за збільшенням горизонтального навантаження сила тертя долається і відбувається прослизання верхньої фундаментної плити відносно нижньої. При

цьому вдається у декілька разів знизити навантаження на устаткування і будівлю. Перевагами цієї конструкції є її відносна простота і чіткість роботи. Недоліками слід вважати відсутність можливості регулювання сил тертя.

Сейсмічні коливання можна істотно знизити за рахунок використання сипких матеріалів у вигляді піску, щебеню, гравію і т.под. у фундаментних частинах сейсмоізованої споруди (рис. 11.6).

Ефект зниження сейсмічного навантаження унаслідок запропонованих заходів може бути дуже великим, проте важко підібрати оптимальні характеристики сейсмоізольюючих фундаментів такого типу, не ясна їх поведінка при низькочастотних землетрусах, немає можливості регулювання параметрів демпфірування і т.п.

Рисунок 11.5 – Приклад застосування системи ковзаючого поясу у фундаменті споруди



Конструкції, в яких виникає повертаюча сила між сейсмоізольюючими частинами споруди, можна поділити на дві групи: із пружними та кінематичними опорами гравітаційного типу.

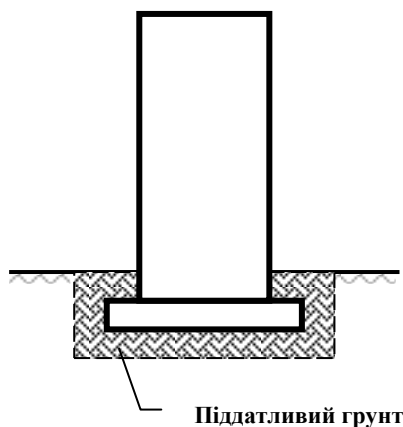


Рисунок 11.6 – Приклад системи сейсмоізольюючого фундаменту з використанням сипких матеріалів

У системі з пружними елементами амортизуючі опорні елементи виконуються з різних еластичних матеріалів (гуми, поліхлоропрену, фторопласту і т.под.) і пружинних елементів (рис. 11.7). Ці опори можуть надійно захищати конструкції від сейсмічних дій.

Дослідження споруд на гумометалевих опорах указують на їх високу надійність,

проте вартість самих фундаментів виявляється значною і може досягати 30 % від вартості будівлі.

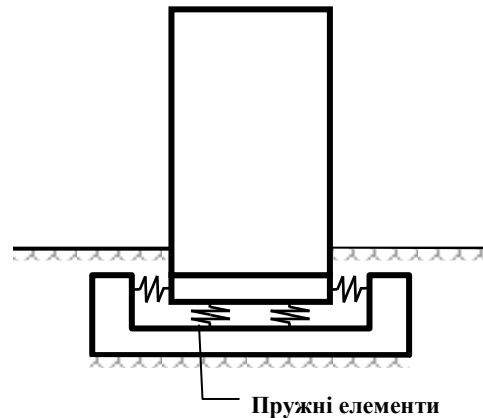


Рисунок 11.7 – Приклад системи сейсмоізолюючого фундаменту з пружними елементами

Застосування таких пристроїв дозволяє знизити сейсмічні навантаження і внутрішні зусилля, викликані ними, в конструкціях будівель. Проте серйозною проблемою при проектуванні споруд на пружних опорах виявилася складність забезпечення їх міцності при значних взаємних зсувах сейсмоізованих частин фундаменту.

Принцип роботи конструкцій гравітаційного типу на гравітаційних кінематичних опорах полягає в тому, що під час землетрусу центр тяжіння опор піднімається (рис. 11.8), в результаті утворюється гравітаційна поновлююча сила. При цьому коливання будівлі відбуваються біля положення рівноваги, і їх початкова частота й період залежатимуть від геометричних розмірів використовуваних опор.

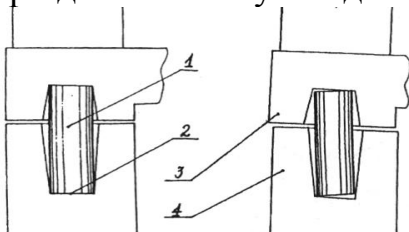


Рисунок 11.8 – Приклад системи сейсмоізолюючого фундаменту гравітаційного типу на гравітаційних кінематичних опорах

Пропоноване рішення дозволяє збільшити площу передачі навантаження на опорні частини і тим самим зменшити виникаючі напруги в зоні контакту рухомих елементів із опорними частинами.

У системах *сейсмогасіння*, що включають енергопоглиначі і динамічні гасителі, значний ефект гасіння коливань досягається шляхом використання спеціальних поглиначів енергії, що мають підвищені *дисипативні властивості*. Механічна енергія конструкції, що коливається, переходить в інші види енергії, що приводить до демпфірування коливань або до перерозподілу енергії від захищеної конструкції до гасителя. Розсіювання енергії в системах *сейсмогасіння* відбувається за рахунок:

- роботи сил пластичної деформації,
- сухого або в'язкого тертя;
- застосування пружнофрикційних зв'язків;

– динамічних гасителів коливань.

Енергопоглиначі сухого або в'язкого тертя, що застосовуються в системах сейсмоізоляції фундаментів (рис. 11.9), можуть використовуватися не тільки у вигляді нерозривного зв'язку між досліджуванним об'єктом і основою, але також і як обмежувачі переміщення, що встановлюються із заданим зазором. Вони є найбільш зручними, з погляду практичної реалізації та експлуатації

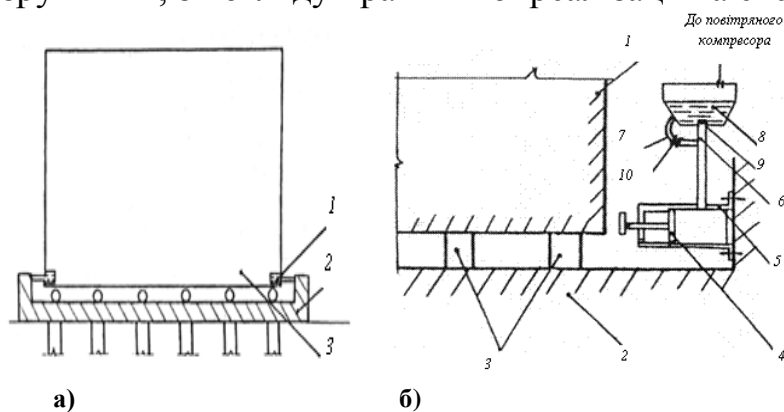


Рисунок 11.9 – Приклад системи з енергопоглиначами сухого або в'язкого тертя

а) 1 – енергопоглинач; 2 – підземна сейсмоізолююча частина будівлі; 3 – надземні конструкції будівлі;

б) 1 – надземні конструкції споруди; 2 – нижня частина фундаменту; 3 – вертикальні амортизуючі елементи; 4 – поршень гідросистеми; 5 – циліндр гідросистеми; 6 – патрубок; 7 – перехідна трубка; 8 – резервуар; 9 – зворотний клапан; 10 – дросель

Застосування пружнофрикційних зв'язків (рис. 11.10) дозволяє не тільки значно підвищити дисипативні властивості системи, але й регулювати її енергопоглинаючу здатність. настроювати систему на оптимальний режим роботи. Втіленням фрикційних зв'язків є штучне розрізання остову будівлі на самостійні несучі блоки, сполучені між собою у швах фрикційними зв'язками. Як фрикційні зв'язки можуть використовуватись, наприклад, болтові з'єднання.

У системах сейсмогасіння з *динамічним гасителем коливань (ДГК)* як на рис. 11.11 механічна енергія конструкції, що коливається, не тільки може переходити в інші види енергії, але і перерозподілятися від конструкції, що захищається, до гасителя. Для забезпечення ефективної роботи ДГК в потрібне істотне збільшення гасячої маси. Системи сейсмогасіння з ДГК використовують для захисту хмарочосів.

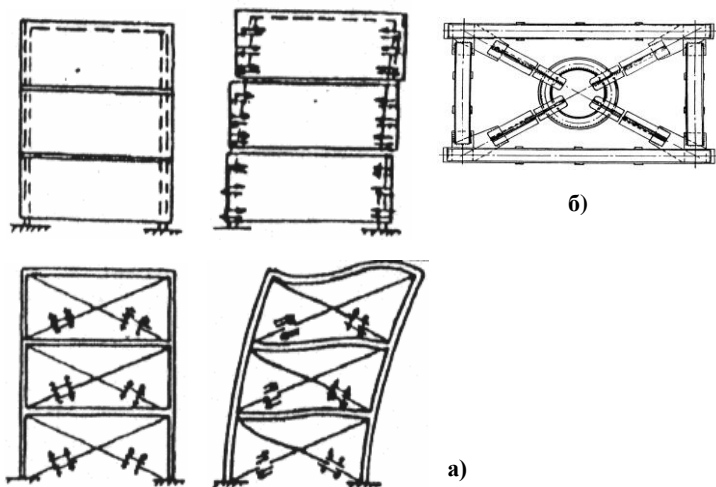


Рисунок 11.10 – Приклади систем з енергопоглиначами пружнофрикційних зв'язків (а). Пластичні енергопоглиначі в системах зв'язків сталевих каркасів (б)

Існують адаптивні *системи сейсможахисту*, динамічні характеристики яких можуть змінюватися (самонастроюватися) і пристосовуватися до спектрального складу

землетрусу. Один із різновидів таких систем – комбінована система, що складається з кінематичних опор і упорів-обмежувачів переміщень. Існує декілька конструктивних рішень, що по-різному втілюють цю систему. Кожне з конструктивних рішень має специфічні особливості, які так чи інакше можуть вплинути на будівлю при землетрусі, її сейсмічну реакцію і врешті решт сейсмічність.

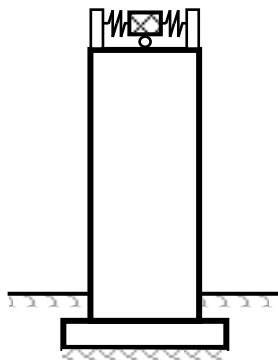


Рисунок 11.11 – Приклад системи з динамічним гасителем коливань

5 Методи розрахунку будівель на сейсмічні впливи

Розрахунок конструкцій і фундаментів будівель та споруд для будівництва в сейсмічних районах повинен виконуватися на основні та особливі сполучення навантажень з урахуванням сейсмічних дій. В особливе сполучення навантажень входять постійні, можливі довготривалі та короткочасні навантаження, сейсмічні дії, а також дії, що обумовлені деформаціями основи при замочуванні просідаючих ґрунтів.

При розрахунку будівель і споруд (окрім транспортних і гідротехнічних) на особливе сполучення навантажень з урахуванням сейсмічних впливів до розрахункових значень навантажень вводяться коефіцієнти сполучень за таб. 11.4.

Таблиця 11.4 - Значення коефіцієнтів сполучень

Види навантажень	Значення коефіцієнта сполучень, n_c
Постійні для залізобетонних, кам'яних, дерев'яних	0,9
Те саме для металевих конструкцій	0,95
Тимчасові тривалі	0,8
Короткочасні (на перекриття та покриття)	0,5

Розрахунки споруд на особливі сполучення навантажень з урахуванням сейсмічних дій належить виконувати із використанням:

- спектрального методу* – слід виконувати для всіх будівель і споруд. Цей метод є достатнім для будівель і споруд простої геометричної форми із симетричним і регулярним розміщенням мас і жорсткостей, із найменшим розміром у плані не більше 30 м;
- прямого динамічного методу* – із застосуванням інструментальних записів прискорень ґрунту при землетрусах або стандартного набору синтезованих акселерограм – для будівель і споруд особливо відповідальних, заввишки понад 50 м (більше 16 поверхів) та споруди з прогонами більше 30 м або із принципово новими конструктивними рішеннями. При цих розрахунках слід враховувати можливість розвитку непружних деформацій конструкцій.

Сейсмічні дії можуть мати будь-який напрям|направлення| в просторі. При цьому максимальні амплітуди прискорень підстави|основи,заснування| слід приймати не менше 100, 200 або 400 см/с^2 при сейсмічності майданчиків будівництва 7, 8 і 9 балів відповідно.

Для будівель і споруд простої геометричної форми розрахункові сейсмічні навантаження слід приймати такими, що діють горизонтально у напрямі їх подовжньої і поперечної осей. Дію сейсмічних навантажень у вказаних напрямках слід враховувати роздільно.

При розрахунку споруд складної геометричної форми слід враховувати найбільш небезпечні для даної конструкції або її елементів напрямку|направлення| дії сейсмічних навантажень.

Вертикальну складову сейсмічної дії необхідно враховувати при розрахунку:

- горизонтальних і похилих консольних конструкцій;
- пролітних споруд мостів;
- рам, арок, ферм, просторових покриттів будівель і споруд прольотом 12...24 і більше метрів в залежності від сейсмічності майданчика;
- будівель, споруд і фундаментів на стійкість проти перекидання або проти ковзання;
- пальових конструкцій з високим ростверком;
- міцності несучих стін з кам'яної кладки;
- опорних елементів сейсмоізоляції.

Спектральний метод розрахунку.

При визначенні розрахункових значень горизонтальних сейсмічних навантажень на будівлі та споруди висотою H , яка перевищує у два і більше разів її ширину B і довжину L допускається приймати розрахункову схему (рис. 11.12,а) у вигляді багатомасового пружно-деформованого консольного стрижня, жорстко закріпленого на основі, який несе зосереджені маси вагою Q_k , розташовані на рівні перекриттів, і здійснює коливальний рух за одним із напрямків (x або y).

При ширині будівлі B , яка в три і більше разів менша від двох інших її розмірів (H і L), допускається приймати розрахункову схему (рис. 11.12,б) у вигляді багатомасового пружно-деформованої перехресної системи із зосередженими у вузлах масами, розташованими на рівні перекриттів.

Як правило, рекомендується використовувати просторові розрахункові динамічні моделі із зосередженими у вузлах масами (рис. 11.12,в).

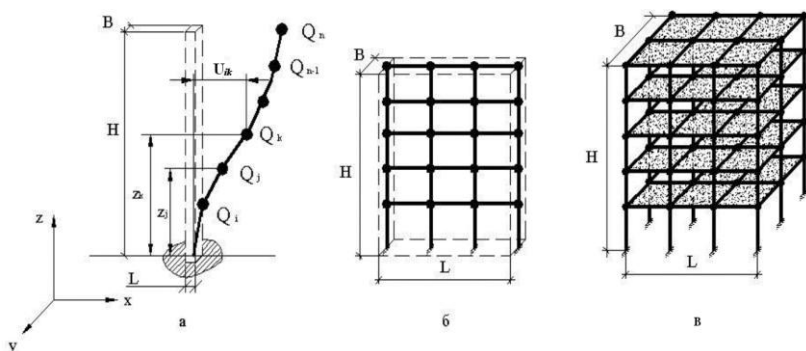


Рисунок 11.12 – Розрахункові схеми будівель і споруд:

а – у вигляді багатомасового консольного стрижня; б – у вигляді багатомасової перехресної системи; в – у вигляді просторової динамічної моделі

Розрахункове значення горизонтального сейсмічного навантаження S_{ki} ,

прикладеного до точки k і яке відповідає i -ій формі власних коливань будівлі або споруди, треба визначати за формулою:

$$S_{ki} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot S_{0ki}, \quad (11.3)$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує непружні деформації і локальні пошкодження елементів будівлі і приймається за таб. 11.5;

k_2 – коефіцієнт відповідальності споруди, приймається за таб. 11.6;

k_3 – коефіцієнт, що враховує поверховість будівлі більше 5 поверхів, визначається за формулою:

$$k_3 = 1 + 0,06 \cdot (n - 5), \quad (11.4)$$

де n – кількість поверхів в будівлі. Максимальне значення k_3 приймається не більше 2,0 (в тому числі для рамних, рамно-в'язевих и в'язевих систем), а для стінових и каркасно-стінових конструктивних систем – не більше 1,8;

S_{0ki} – горизонтальне сейсмічне навантаження за i -ою формою власних коливань споруди, що визначається у припущенні пружного деформування конструкцій за формулою:

$$S_{0ki} = Q_k \cdot a_0 \cdot k_{zp} \cdot \beta_i \cdot \eta_{ki}, \quad (11.5)$$

де Q_k – навантаження, що відповідає масі, прийнятій у якості зосередженої у точці k і визначається з урахуванням коефіцієнтів згідно з 2.1.1.

a_0 – відносне прискорення ґрунту, яке приймається рівним 0,05; 0,1; 0,2 і 0,4 відповідно для районів сейсмічністю 6, 7, 8 і 9 балів; при використанні карт А і В, – в залежності від розрахункових значень a_0 згідно з таблицею 11.7;

k_{zp} – коефіцієнт, що враховує нелінійне деформування ґрунтів, вводиться, якщо визначення сейсмічності майданчика виконане на основі матеріалів інженерно-геологічних вишукувань відповідно до таблиці 11.3, і приймається за таблицею 11.8;

β_i – спектральний коефіцієнт динамічності, що відповідає i -ій формі власних коливань будівлі або споруди; приймається відповідно до рис. 11.13;

η_{ki} – коефіцієнт, що залежить від форми власних коливань будівлі або споруди і від місця розташування навантаження (рис. 11.12); визначається за формулою:

а) для консольної розрахункової схеми:

$$\eta_{ki} = \frac{U_i(z_k) \sum_{j=1}^n Q_j U_i(z_j)}{\sum_{j=1}^n Q_j U_i^2(z_j)}, \quad (11.6)$$

де $U_i(z_k)$ і $U_i(z_j)$ – переміщення будівлі або споруди при власних коливаннях за i -ю формою;

n – число зосереджених навантажень;

б) для перехресної та просторової розрахункових схем:

$$\eta_{ki} = \frac{U_i(z_k) \sum_{j=1}^n Q_j U_i(z_j) \cos(U_{ki}, U_0)}{\sum_{j=1}^n Q_j U_i^2(z_j)}, \quad (11.7)$$

де $\cos(U_{ki}, U_0)$ – косинуси кутів між напрямками переміщення U_{ki} і вектора сейсмічної дії U_0 .

Таблиця 11.5 – Коефіцієнт k_b , що враховує непружні деформації та локальні пошкодження елементів будівель

Конструктивні рішення систем і несучих елементів [спорудження]	Значення коефіцієнта k_b
1. Споруди, в яких залишкові (непружні) деформації і локальні пошкодження (осідання, тріщини і ін.) не допускаються	1,0
2. Будівлі і споруди, в конструкціях яких можуть бути допущені залишкові деформації, тріщини, пошкодження окремих елементів і т.п., що утрудняють нормальну експлуатацію, при забезпеченні безпеки людей і збереження устаткування (житлові, громадські, виробничі, сільськогосподарські будівлі і споруди; гідротехнічні і транспортні споруди; системи енерго- і водопостачання, пожежні депо, системи пожежогасінні, деякі споруди зв'язку і т.п.)	0,25...0,7
3. Будівлі і споруди, в конструкціях яких можуть бути допущені значні залишкові деформації, тріщини, пошкодження окремих елементів, їх зміщення і т.п., що тимчасово припиняє нормальну експлуатацію, при забезпеченні безпеки людей (одноповерхові виробничі і сільськогосподарські будівлі, що не містять цінного устаткування)	0,2...0,3

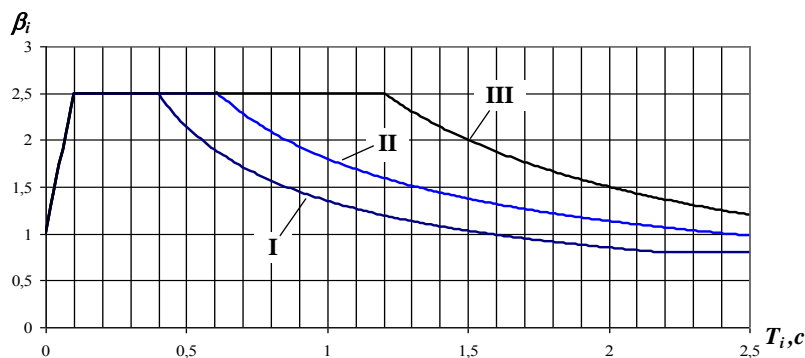


Рисунок 11.13 – Значення спектрального коефіцієнта динамічності β_b в залежності від категорії ґрунту (I-III) за сейсмічними властивостями та періоду власних коливань T_i будівлі

Розрахункові значення поперечної і подовжньої сил, вигинаючого і перекидаючого моментів, нормальних і дотичних напружень N_p в конструкціях від сейсмічного навантаження за умови статичної дії її на споруду слід визначати по формулі:

$$N_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n N_i^2}, \quad (11.8)$$

де N_p – зусилля, напруження або інші силові фактори в елементах конструкцій від сейсмічного навантаження;

N_i – значення відповідного фактора зусиль або напружень в перерізі, що розглядається, яке викликане сейсмічними навантаженнями за i -ою формою коливань;

n – число форм коливань, які враховуються в розрахунку.

Таблиця 11.6 – Коефіцієнт відповідальності споруд k_2

№	Характеристика споруд	Значення k_2
1	Особливо відповідальні та унікальні споруди, в тому числі виробничі корпуси, складські будівлі хімічної промисловості з вибухонебезпечними, токсичними і отруйними речовинами	1,5
2	Споруди з одночасним перебуванням великої кількості людей (великі вокзали, аеропорти, театри, цирки, музеї, виставкові і концертні зали з числом місць більше 1000 чоловік, криті ринки та стадіони) Будівлі та споруди, функціонування яких необхідне при землетрусі або при ліквідації його наслідків (системи енерго- і водозабезпечення, пожежогасіння, зв'язку, адміністративні органи тощо)	1,4
3	Будівлі і споруди лікарень, пологових будинків, станцій швидкої допомоги, шкіл, дитячих садків, вищих навчальних закладів, залізниць і автомобільних доріг	1,3
4	Будівлі готелів, спальних корпусів на 250 місць і більше	1,2
5	Висотні споруди невеликих у плані розмірів (башти, щогли, димові труби, шахти ліфтів, що стоять окремо, тощо) при відношенні $H/B \geq 5$, і великопрогонові споруди ($L \geq 30$ м)	1,4
6	Каркасні будівлі, стінове заповнення яких не впливає на їх деформативність: при $h/b \geq 25$ при $h/b \leq 15$	1,4 1,0
7	Будівлі та споруди, руйнування яких не пов'язано із загибеллю людей, втратою матеріальних і культурних цінностей і не викликає припинення безперервних технологічних процесів або забруднення навколишнього середовища	0,5

Таблиця 11.7 – Значення відносних прискорень a_0 для даного майданчика (населеного пункту) залежно від сполучень розрахункової сейсмічної інтенсивності на картах А і В

Номер сполучення	Інтенсивність за картами, бали шкали		Розрахункові значення, a_0
	А	В	
1	6	6	0,05
2	6	7	0,08
3	7	7	0,10
4	7	8	0,15
5	8	8	0,20
6	8	9	0,30
7	9	9	0,40

Таблиця 11.8 – Значення коефіцієнта k_{zp} , який враховує нелінійне деформування ґрунту при інтенсивних сейсмічних коливаннях

Категорія ґрунту	Сейсмічність майданчика будівництва в балах			
	6	7	8	9
I	1,0	1,2	1,3	1,4
II	1,0	1,0	1,0	1,0
III	1,0	0,8	0,75	0,7

Вертикальне сейсмічне навантаження у всіх випадках, окрім|крім| кам'яних конструкцій, слід визначати по формулах (11.3) і (11.4), при цьому коефіцієнти k_{zp} та k_2 , приймаються рівними одиниці.

Консольні конструкції, вага яких в порівнянні з вагою будівлі незначна (балкони, козирки, консолі для навісних стін і т.п. і їх кріплення), слід розраховувати на вертикальне сейсмічне навантаження при значенні $n = 5$.

Конструкції, що підносяться над будівлею або спорудою і мають в порівнянні з нею незначні перетини і вагу (парапети, фронтони і т.п.), а також кріплення важкого устаткування, що встановлюється на першому поверсі, слід розраховувати з урахуванням горизонтального сейсмічного навантаження, обчисленого за формулами (11.3) і (11.4) при $n = 5$.

Стіни, панелі, перегородки, з'єднання між окремими конструкціями, а також кріплення технологічного устаткування|обладнання|, слід розраховувати на горизонтальне сейсмічне навантаження по формулах (11.3) і (11.4) при n , відповідному даній відмітці споруди, але не менше 2. Сили тертя враховуються лише при розрахунку горизонтальних стикових з'єднань у великопанельних будівлях.

При розрахунку конструкцій на міцність і стійкість крім коефіцієнтів умов роботи, що приймаються відповідно до інших ДБН, слід запроваджувати|додатково коефіцієнт умов роботи m_{kp} , визначуваний табл. 11.9.

При розрахунку будівель і споруд (окрім гідротехнічних споруд) завдовжки або шириною більше 30 м крім сейсмічного навантаження, необхідно враховувати крутильний момент відносно вертикальної осі будівлі або споруди, що проходить через його центр жорсткості. Значення розрахункового ексцентриситету між центрами жорсткостей і мас будівель або споруд в даному рівні слід приймати не менше $0,1 B$, де B – розмір будівлі або споруди в плані в напрямі|направленні|, перпендикулярному дії сили S_{ki} .

При розрахунку підпірних стін необхідно враховувати сейсмічний тиск ґрунту.

Розрахунок будівель і споруд з урахуванням сейсмічної дії, як правило, проводиться по граничних станах першої групи. У випадках, обґрунтованих технологічними вимогами, допускається проводити розрахунок по другій групі граничних станів.

Таблиця 11.9 – Визначення коефіцієнту умов роботи m_{kp} при розрахунку конструкцій на міцність і стійкість з урахуванням сейсмічної дії

Конструкції	Значення коефіцієнта m_{kp} /
При розрахунках на міцність	
1. Сталеві і дерев'яні	1,4
2. Залізобетонні із стержневою і дротяною арматурою (окрім перевірки міцності похилих перетинів):	
а) з важкого бетону з арматурою класів А-I, А-II, А-III, Вр-I	1,2
б) те ж, з арматурою інших класів	1,1
в) з легкого бетону	1,1
г) з пористого бетону з арматурою всіх класів	1
3. Залізобетонні, такі, що перевіряються по міцності похилих перетинів:	
а) колони багатоповерхових будівель	0,9
б) інші елементи	1

4. Кам'яні, армокам'яні і бетонні:	
а) при розрахунку на позацентрове стискування	1,2
б) при розрахунку на зсув і розтягування	1
5. Зварні з'єднання	1
6. Болтові (зокрема що сполучаються на високоміцних болтах) і заклепувальні з'єднання	1,1
При розрахунках на стійкість	
7. Сталеві елементи гнучкістю понад 100	1
8. Те ж, гнучкістю до 20	1,2
9. Те ж, гнучкістю від 20 до 100	Від 1,2 до 1 (по інтерполяції)

Примітки: 1. Для вказаних поз. 1-4 конструкцій будівель і споруд (окрім транспортних і гідротехнічних), що зводяться в районах з повторюваністю 1, 2, 3, значення $m_{кр}$ слід умножати на 0,85; 1 або 1,5 відповідно.

2. При розрахунку сталевих і залізобетонних несучих конструкцій, що підлягають експлуатації в неопалювальних приміщеннях або на відкритому повітрі при розрахунковій температурі нижче мінус 40С, слід приймати $m_{кр} = 1$, у випадках перевірки міцності похилих перетинів колон $m_{кр} = 0,9$.

Прямий динамічний метод розрахунку із застосуванням розрахункових сейсмічних дій як функцій часу.

Прямі динамічні методи розрахунку будівель і споруд належить виконувати з використанням розрахункових акселерограм $a_i(t) = A_i y_i(t)$, де i - номер складової вектора коливань; A_i - максимальне значення амплітуди прискорень; $y_i(t)$ - нормована на одиницю функція, що описує коливання ґрунту в часі. Величина прискорення коливань A_0 на максимальній горизонтальній складовій вектора сейсмічних рухів у точці O , яка знаходиться у сейсмічній зоні з інтенсивністю I на відповідній карті загального сейсмічного районування, розраховується за допомогою формули:

$$A_0 = A_{i \max} = 2^{I + \Delta I - 7 + \frac{d}{D}} \quad (11.9)$$

де d – відстань від точки O до середини відрізка прямої, проведеної через цю точку так, щоб довжина відрізка D), який відсікається обмежуючими зону ізосейстами, була мінімальною. Значення d додатне, якщо точка O розташована у сторону зростання сейсмічної бальності відносно середини відрізка, і від'ємне - у сторону зменшення;

ΔI – приріст сейсмічної бальності за рахунок впливу місцевих ґрунтових умов майданчика, одержаний при проведенні його сейсмічного мікрорайонування.

Проектуючи особливо важливі об'єкти і об'єкти підвищеної небезпеки у прямих динамічних розрахунках належить використовувати розрахункові акселерограми, які побудовані для заданої вірогідності неперевищення максимальних сейсмічних дій, що відповідає карті ЗСР. Розрахункові акселерограми будуються на основі інструментальних записів сильних і проміжних за величиною землетрусів, що зареєстровані безпосередньо на будівельному майданчику або в умовах, близьких до умов майданчика будівлі або споруди, яка проектується. Величини A_i у цьому випадку визначаються за допомогою робіт щодо уточнення сейсмічної небезпеки майданчика.

При проектуванні нетипових і відповідальних будівель та споруд у прямих динамічних розрахунках допускається використовувати синтезовані розрахункові акселерограми, побудовані з урахуванням умов майданчика і його положення відносно небезпечних сейсмогенних зон. У разі відсутності інструментальних записів для

генерації розрахункових акселерограм можуть використовуватись розрахункові методи і дані щодо приросту сейсмічної бальності за рахунок впливу місцевих ґрунтових умов майданчика – ΔI , що одержані при проведенні його сейсмічного мікрорайонування.

Розрахунки елементів конструкцій.

Підбір перерізів елементів конструкцій, їх вузлів і з'єднань здійснюється за несучою здатністю у припущенні статичного прикладення сейсмічних навантажень.

У випадках, обґрунтованих технологічними вимогами, допускається виконувати розрахунок за другою групою граничних станів. Розрахунки металевих конструкцій будівель і споруд належить виконувати з урахуванням нелінійного деформування матеріалу.

Для залізобетонних і кам'яних несучих елементів належить обмежувати допустимі значення параметра γ (таб. 11.10).

Для колон, стовпів і вузьких простінків (при перевірці на позacentровий стиск)

$$\frac{\Sigma P}{R_p} \leq \gamma, \quad (11.10)$$

де ΣP – розрахункове сумарне статичне навантаження від власної ваги та інших вертикальних навантажень, включаючи сейсмічне, які діють у найбільш навантаженому перерізі несучих конструктивних елементів будівлі;

R_p – розрахункова несуча здатність конструктивних елементів будівлі, які несуть вертикальні навантаження у тому ж перерізі, де визначалось ΣP .

Для широких простінків, діафрагм, поперечних стін (при перевірці на зріз та на головні розтягувальні напруження)

$$\frac{\Sigma Q}{R_q} \leq \gamma \quad (11.11)$$

де ΣQ – розрахункове сумарне горизонтальне навантаження, включаючи сейсмічне, що діє у найбільш навантаженому перерізі несучих конструктивних елементів будівлі;

R_q – розрахункова несуча здатність конструктивних елементів будівлі, які сприймають горизонтальні навантаження у тому ж перерізі, де визначалось ΣQ .

Таблиця 11.10 - Гранично допустимі значення параметра γ для залізобетонних і кам'яних несучих конструкцій в залежності від інтенсивності землетрусів в балах

Бали шкали MSK-64	Значення параметра γ
6	0,95
7	0,8
8	0,7
9	0,6

При розрахунку елементів конструкцій на міцність і стійкість, окрім коефіцієнтів умов роботи, що приймаються у відповідності з іншими нормами, належить вводити додаткові коефіцієнти m , що враховують підвищення механічних властивостей матеріалів при високих швидкостях завантаження. Наприклад, при розрахунках на міцність для сталевих та дерев'яних конструкцій $m = 1,3$; для залізобетонних конструкцій

$m = 1, 0 \dots 1, 1$. При розрахунках на стійкість для сталевих стиснутих елементів $m = 1, 0 \dots 1, 2$.

Перерізи елементів слід приймати не менше ніж отримані за результатами розрахунку на основне сполучення навантажень.

Завдання до самостійної підготовки:

1. Що таке гіпоцентр, епіцентр та сейсмічний осередок землетрусу?
2. Охарактеризуйте види сейсмічних хвиль.
3. Наведіть класифікацію землетрусів за глибиною сейсмічного осередку та за причинами, що їх викликають.
4. За якими показниками вимірюється сила землетрусу?
5. Які пошкодження будівель можуть бути під час землетрусів різної сили?
6. Охарактеризуйте поняття «сейсмічний район».
7. Охарактеризуйте поняття "сейсмічність будівельного майданчика".
8. В чому сутність заходів при проектуванні конструкцій в сейсмічних зонах?
9. Яким питанням треба приділяти особливу увагу при будівництві в сейсмічних районах?
10. З якою метою у будівлі влаштовуються антисейсмічні шви?
11. Вкажіть основні принципи будівництва у сейсмічних районах.
12. Як змінюються міцнісні характеристики матеріалів зі зміною швидкості навантаження та повторності додавання навантаження.
13. Вкажіть методи забезпечення сейсмостійкості цегляних будинків.
14. Охарактеризуйте антисейсмічні властивості великопанельних будинків.
15. Наведіть класифікацію методів сейсмозахисту.
16. Охарактеризуйте активні методи сейсмозахисту.
17. Чим відрізняється сейсмогасіння від сейсмоізоляції?
18. Чим відрізняється адаптивні та стаціонарні системи сейсмоізоляції?
19. Вкажіть методи, які використовуються для розрахунку споруд на сейсмічні дії.

Методичну розробку склав:

ст. викладач

Ю.В.Квітковський